



TITLE:

呼吸困難に関する筋電図学的研究： Hypoxemia および Hypercapnia を 中心として

AUTHOR(S):

金, 泰希; 土肥, 佳郎; 安田, 隆三郎; 佐川, 弥之助

CITATION:

金, 泰希 ...[et al]. 呼吸困難に関する筋電図学的研究: Hypoxemia および Hypercapnia を中心として. 京都大学結核研究所紀要 1967, 15(2): 164-185

ISSUE DATE:

1967-03

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/51798>

RIGHT:

呼吸困難に関する筋電図学的研究

Hypoxemia および Hypercapnia を中心として

京都大学結核研究所外科学部（主任 教授 長石忠三）

金 泰 希*・土 肥 佳 郎*

安 田 隆 三 郎*・佐 川 弥 之 助*

（受付 昭和42年1月31日）

緒 言

呼吸困難の定義については、諸家の見解はまちまちであり、現在なお、統一されていない。さらに、呼吸困難の発生機構の解明の問題に至っては、心肺生理学が著しく発達した現在でも、なおほど遠い感がある。これは、呼吸困難なる言葉のもつ意味が複雑であり、その概念もあいまいだからであろう。

呼吸困難とは何か。一体これは自覚的な症状なのか、他覚的な所見なのか。

呼吸困難のメカニズムを解明するには、まずその概念をはっきりさせることが先決問題である。

呼吸困難の定義に対する諸家の見解を大別すると、「自覚的に呼吸性努力を増大させる必要を感じずる状態」とする Meakins¹⁾ の見解と、「自覚的なものだけではなく、他覚的にも努力性呼吸が認められる場合を呼吸困難とする」とする Christie²⁾ の見解との二つになるようである。

Meakins の定義は、従来広く用いられてきたもので、要するに、自覚的に“息が苦しい”、“息がつまる”、または“息切れがする”といった訴えがあってはじめて呼吸困難とするものである。したがって、彼の定義では、昏睡とか麻酔中のような無意識状態、幼小児のように意識があっても息苦しさを訴える術を知らない場合

等は、たとえ、下顎呼吸や鼻翼呼吸のような努力性呼吸や respiratory distress の状態にあっても、呼吸困難から除外されるわけである。このような考え方にしたがえば、心肺生理学的に呼吸困難をとらえようとする場合にはなはだ不都合であり、Altschule³⁾ のいうように、呼吸困難のメカニズムを解明しようとすることは、全く無駄な骨折りだということになるであろう。

要するに、呼吸困難は本来患者の自覚症であり、一種の感覚的なものではあるが、意識とは無関係に respiratory distress または努力性呼吸を示す場合をも含めるとの見解をとるならば、心肺生理学的には、respiratory distress を来すメカニズムを追求すればよいことになる。

そこで、著者らは Christie の定義にしたがい、呼吸筋の努力性換気運動が呼吸困難の客観的な所見であるとの見解をとり、補助呼吸筋、とくに胸鎖乳突筋の呼吸運動への関与が、呼吸困難の客観的な指標となり得ないかと考えた。この考え方は呼吸困難を換気仕事量の増加なる面から考察しようとする考え方^{4~6)}と、一脈相

* Taiki KIM, Yoshiro DOHI, Ryuzaburo YASUDA, and Yanosuke SAGAWA Department of Surgery (Chairman Prof. Chuzo NAGAISHI), Tuberculosis Research Institute, Kyoto University

通ずるものである。

補助呼吸筋の一つである胸鎖乳突筋の呼吸運動への関与は、筋電図学的に追求できるものであり、我々が胸鎖乳突筋を選んだ理由は以下のような文献があるからである。

1. Tokizane et al⁷⁾ および 川俣⁸⁾ による詳細な呼吸筋筋電図の研究から、我々は強制呼吸のさいに呼吸運動に関与する筋のうち、最も検索し易いのは胸鎖乳突筋であろうと考えた。前頸部に位置しており、体表面に近くて比較的大きいこの筋肉を用いる場合には、仰臥位で容易に電極を導入し得る利点がある。
2. Campbell⁹⁾ は、呼吸困難のさいには一般に胸鎖乳突筋が重要な役割を演ずるといっている。
3. 織畑は¹⁰⁾、僧帽弁窄症の患者で局所麻酔下に気管内麻酔器で間歇加圧平圧呼吸をつづける場合、開胸後しばらくすると、鼻翼呼吸、胸鎖乳突筋の呼吸性緊張等のような著明な努力性呼吸が現われるといっている。

以上の理由から、胸鎖乳突筋の呼吸運動への関与を呼吸困難の客観的な指標とするのが、適当であろうと考えたわけである。

ただし、意識的に努力性呼吸運動を行なって胸鎖乳突筋を働かしめたような場合は、勿論除外しなければならない。

実際の検索にあたっては、胸鎖乳突筋のみならず、同じく頸部の筋で補助呼吸筋とされている前斜角筋、安静時の呼吸に関与して、主呼吸筋といわれている外肋間筋、さらには補助呼吸筋とされている腹壁筋(外腹斜筋または腹横筋)の四つの筋についても同時記録を行なって、筋電図学的に検討し、また、これと動脈血ガス組成や pH、換気量等との関係についても検討した。

I 検査対象および研究方法

A) 検査対象：

- a) 京都大学結核研究所およびその関係施設に入院中の肺疾患々者のうち、安静時に呼吸困難があるもの、A群6名。安静時に呼吸困難のないものに低酸素負荷を行なったもの、B群6名。安静時に呼吸困難のないものに高炭酸ガス負荷を行なったもの、C群7名。等をえらび、これらの3群について検討した。

の、A群6名。安静時に呼吸困難のないものに低酸素負荷を行なったもの、B群6名。安静時に呼吸困難のないものに高炭酸ガス負荷を行なったもの、C群7名。等をえらび、これらの3群について検討した。

b) 被検筋としては、いずれも右側の、第5～7肋間筋、腹壁筋(外腹斜筋または腹横筋)、前斜角筋、胸鎖乳突筋の四つを選び、同時に Pneumotachograph で呼吸の相の変化を記録した。検査はすべて仰臥位にて行なった。

B) 研究方法：

a) 電極は表面電極または筋内埋入電極を用いた。表面電極としては直径約 7～8mm の銀盃2枚を用い、これを被験筋の皮膚上に約 1cm 距てて、絆創膏で固定した。

筋内埋入電極¹¹⁾は近年 Kinesiology (動作学) の分野でしばしば用いられているが、これを呼吸筋の活動を知るのに応用した。即ち、直径 100 μ の細いエナメル銅線の先端を約 1mm 削ってエナメルを落し、その部分だけ裸にしたものを 1/4 皮下注射針の中に通し、この部分が被験筋の中にひっかかるように釣針型に折り曲げて、1/4 皮下注射針で誘導穿刺する。穿刺し終れば、注射針だけ引き抜く。この他端は約 1cm 削ってエナメルを落し、筋電計に接合する。被験筋一つについて約 8～10mm の間隔で、2本の電極を刺す。

b) 筋電計は日本光電製のもので、脳波計に準じたものである。ただし、記録はインク書き直記式の記録計によった。電圧は 50 μ V、時定数は 0.03秒である。なお、活動電流の誘導妨害を避けるため、実験はすべて電氣的遮蔽室の中で行なった。

c) 動脈血ガス分析および pH の測定には I.L. メーターを使用した。動脈血の採取はすべて大腿動脈から行なった。

d) 換気量の測定は、安静時に呼吸困難のある患者では、J バルブを通して呼気を 5 分間ダグラス・バッグに採取し、この容量をガスメーターで測り、これから分時換気量および 1 回換気量を算出した。

e) 低酸素負荷は、J バルブを通して低酸素ガス (7.5%～9.6%O₂、他は N₂) を吸入させ、呼気をダグラス・バッグに採取した。この吸気回路の中間に Pneumotachometer を接合し、吸気時の呼吸曲線を描記した。

換気量の測定は d) と同様の方法で算出した。ただし、負荷時換気量は、負荷開始より Anoxemia

に至らしめたときまでのものであり、呼吸数は負荷前、負荷時の Pneumotachograph の記録から求めた。

f) 高炭酸ガス負荷は、無水式レスピロメーターのバッグ内に、予め 7ℓ の純酸素を充満しておき、これを閉鎖回路で反復呼吸させた。これにより患者は自己の呼出した CO₂ ガスを再び吸入することとなり、漸次バッグ内の CO₂ 濃度が高まって高炭酸ガス負荷がかかることになる。

換気量の測定は、無水式レスピロメーターのバッグの縮小伸展に伴って移動するペンにより記録し、この記録から、呼吸数、1回換気量、分時換気量を求めた。

Ⅱ 成 績

A) A群について：

a) 筋電図上の変化は表(1)に示す通りで、胸鎖乳突筋は、安静時にすでに、表面電極でも筋内埋入電極でも6例すべてに吸息性インパルスを認める。

前斜角筋も大体胸鎖乳突筋と同じような態度を示す。

肋間筋は、安静時に表面電極で、症例3では呼息性インパルスを、症例6では吸息性インパルスを認めるが、これは、前者では内肋

表 1 呼吸困難患者の呼吸筋筋電図

症 例	氏 名	被 検 筋	表 面 電 極			筋 内 埋 入 電 極		
			安 静	深 呼 吸	強制呼吸	安 静	深 呼 吸	強制呼吸
1	伊 ○	肋 間 筋	(—)	(—)	(i)(e)	(i)	(ii)	(i)
		前 斜 角 筋	(i)	(ii)	(i)	(i)	(ii)	(i)
		胸 鎖 乳 突 筋	(i)	(ii)	(i)	(i)	(ii)	(i)
		腹 壁 筋	(—)	(—)	(—)			
2	芦 ○	肋 間 筋	(—)	(—)	(e)	(i)	(i)(e)	(i)
		前 斜 角 筋	(i)	(i)	(i)	(i)	(ii)	(ii)
		胸 鎖 乳 突 筋	(i)	(i)	(i)	(i)	(ii)	(ii)
		腹 壁 筋	(—)	(e)	(e)	(—)	(i)	(i)
3	清 ○	肋 間 筋	(e)	(i)	(ii)	(i)		
		前 斜 角 筋	(i)	(i)	(i)			
		胸 鎖 乳 突 筋	(i)	(i)	(i)	(i)		
		腹 壁 筋	(e)	(e)	(e)			
4	松 ○	肋 間 筋	(—)	(—)	(—)	(i)		
		前 斜 角 筋	(i)	(ii)	(i)	(i)		
		胸 鎖 乳 突 筋	(i)	(i)	(i)	(i)		
		腹 壁 筋	(—)	(—)	(—)			
5	鈴 ○	肋 間 筋	(—)			(i)	(ii)	(ii)
		前 斜 角 筋	(i)	(iii)	(ii)	(ii)	(iii)	(iii)
		胸 鎖 乳 突 筋	(i)	(iii)	(ii)	(i)	(iii)	(iii)
		腹 壁 筋	(—)	(e)	(ee)			
6	中 ○	肋 間 筋	(i)			(i)		
		前 斜 角 筋	(i)			(i)(e)		
		胸 鎖 乳 突 筋	(i)			(ii)(e)		
		腹 壁 筋	(i)					

註 (i) : inspiratory impulse

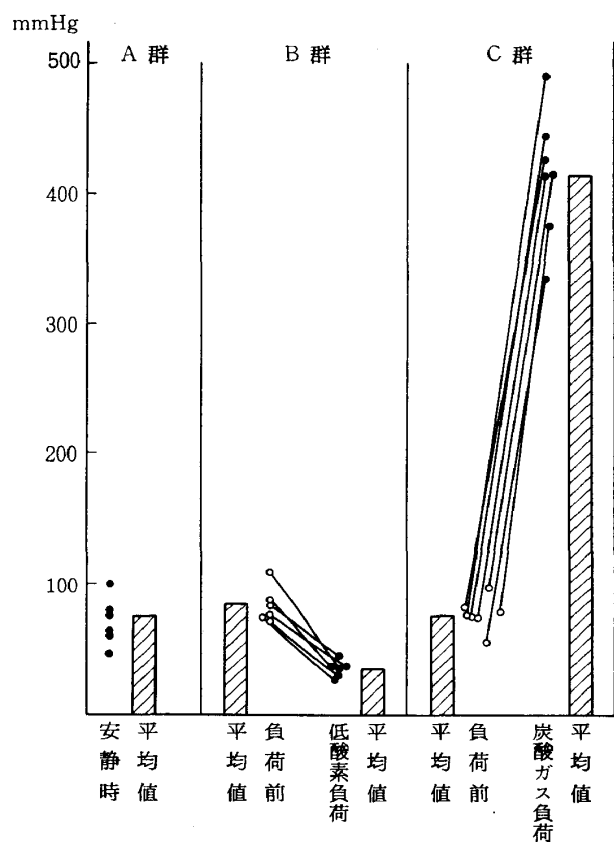
(e) : expiratory impulse

(—) : no impulse

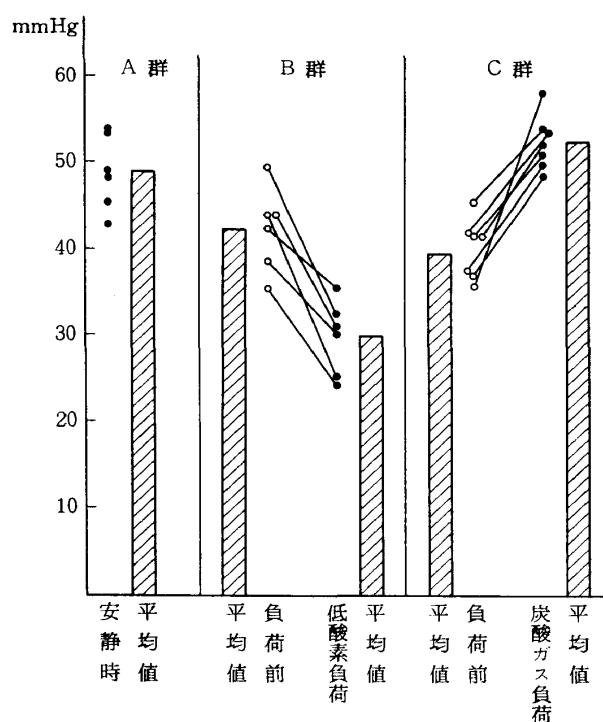
間筋、後者では外助間筋の活動として示されたものと思われる。他の4名では筋活動を示さない。

腹壁筋については、安静時に、表面電極で、症例3は呼息性インパルス、症例6は吸息性インパルスを出しているが、これは、前者では気管支喘息による Asphyxia の外腹斜筋の活動を示し、後者では肺気腫合併気管支喘息の外腹斜筋の活動を示しているものと思われる¹²⁻¹⁴⁾。他の4名では筋活動を示していないが、これに深呼吸または強制呼吸を行わせると、呼息性インパルスを4名中2名が示すようになる。

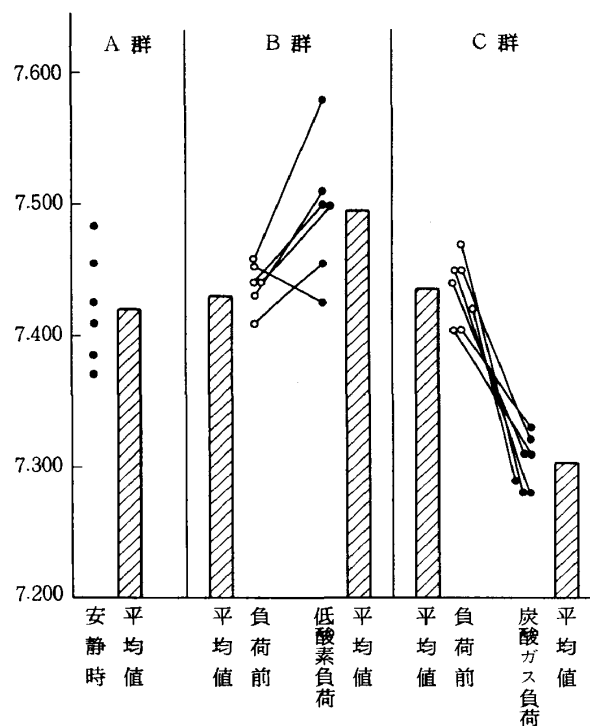
筋内埋入電極では、安静時に肋間筋は全例に吸息性インパルスを示している。即ち、外肋間筋の活動が認められる。これに深呼吸または強制呼吸を行わせると、吸息性インパルスの増強または呼息性インパルスの併発を認める。図(1), (2)は安静時に呼吸困難のある患者の筋電図であり、図(3), (4)は深呼吸時のもの、図(5)は強制呼吸時のものである。



図表1 動脈血 P_{O_2} の変動



図表2 動脈血 P_{CO_2} の変動



図表3 動脈血 pH の変動

b) 動脈血ガス組成および pH の成績は、図表(1), (2), (3)に示す通りで、 P_{aO_2} は 47mmHg から 100 mmHg まででばらついているが、大体においてやや低い値を示している。

P_{aCO_2} は 44mmHg から 54mmHg までで

あり、全体としてかなり高い値を示している。即ち、軽度の Hypoxemia および Hypercapnia の状態、換言すれば軽度の Asphyxia の状態にあることがわかる。

pH については、7.370 から 7.485 までであり、一定の傾向はつかみ難い。

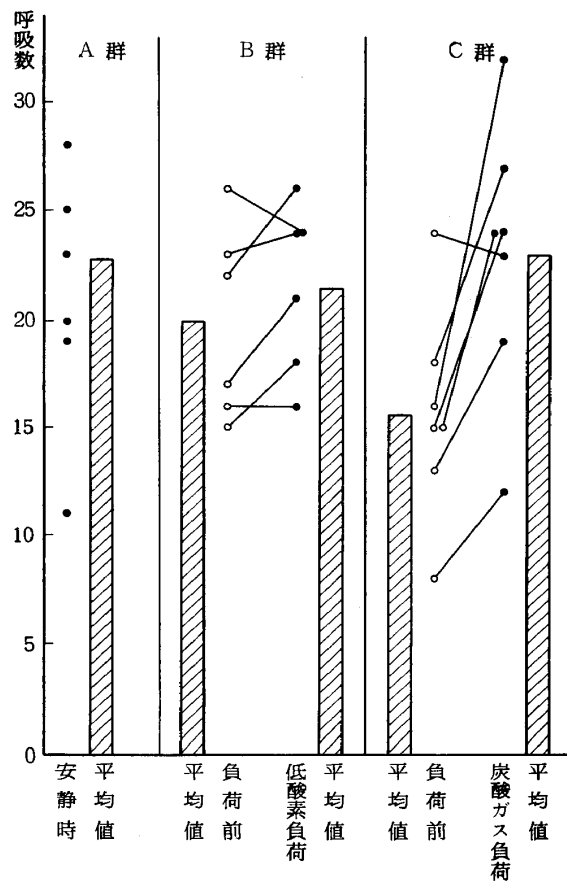
c) 次に、換気量については、図表(4)、(5)、(6)に示す通りで、呼吸数は11回から28回までにわたり、その範囲はかなり広いが、これは疾患の種類にも関係しているものと思われる。

1回換気量は 264cc から 631cc までであり、平均 390cc である。

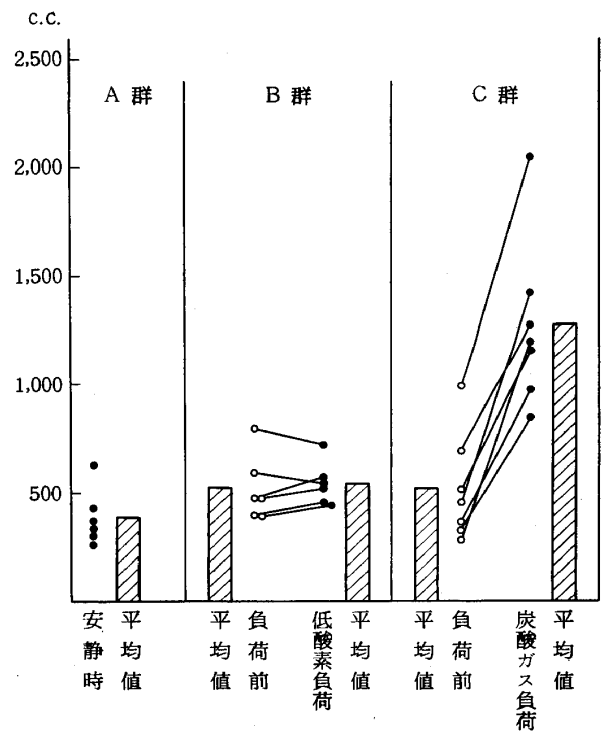
分時換気量は 6060cc から 9470cc までにわたり、平均約 7630cc である。

B) B群について：

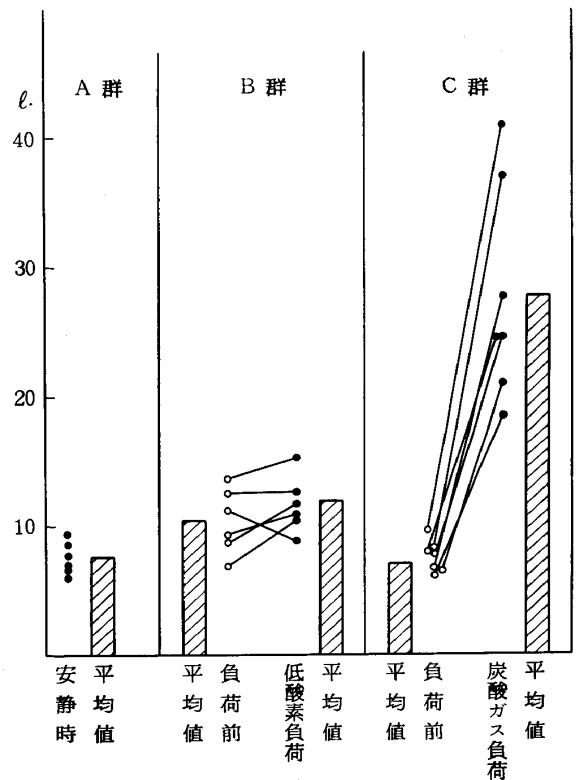
a) 筋電図上の変化は表(2)に示す通りで、低酸素負荷をする前に、表面電極または筋内埋入電極による安静時、深呼吸時、強制呼吸時の筋電図を記録して、これをコントロール



図表4 呼吸数の変動



図表5 1回換気量の変動



図表6 分時換気量の変動

とした。2例は表面電極で、他の4例は筋内埋入電極で、低酸素負荷時の変化を観察した。これによると、胸鎖乳突筋の活動は5例中2例にみられ、3例は無活動であるか、特

表 2 低酸素負荷時の呼吸筋筋電図

電極	症例	氏名	被験筋	負 荷 前			低 酸 素 負 荷	
				安 静 時	深 呼 吸	強制呼吸		
表面電極	1	豊 ○	肋 間 筋 前 斜 角 筋 胸 鎖 乳 突 筋	(-) (-)(i) (-)	(-) (ii) (ii)	(i) (i) (i)	開始(8.7%O ₂). 3'50''(d). (-) (i) (-)	(-) (ii)(e) (i)(e)
	2	三 ○	肋 間 筋 前 斜 角 筋 胸 鎖 乳 突 筋	(-) (-) (-)	(i)(e) (i)(e) (i)(e)	(i)(e) (i) (i)	開始(8.2%O ₂). 8'21''. (-) (-) (-)	(-) (-) (不明)
筋内埋入電極	3	岩 ○	肋 間 筋 前 斜 角 筋 胸 鎖 乳 突 筋	(-) (-) (-)	(i) (i) (i)	(i) (ii) (ii)	開始(7.5%O ₂). 11'38''. (-) (-) (-)	(-) (i) (i)
	4	柳 ○	肋 間 筋 前 斜 角 筋 胸 鎖 乳 突 筋	(-) (-) (-)	(-) (i) (i)	(-) (i) (i)	開始(8.7%O ₂). 8'56''. (-) (-) (-)	(-) (-) (-)
	5	東 ○	肋 間 筋 前 斜 角 筋 胸 鎖 乳 突 筋	(-) (-) (-)	(i) (i)(e) (-)	(i) (-)(i) (-)	開始(9.6%O ₂). 5'53''. (-) (-) (-)	(-) (-) (-)
	6	津 ○	肋 間 筋 前 斜 角 筋 胸 鎖 乳 突 筋	(i) (-) (-)	(ii) (ii)(e) (ii)(e)	(i) (ii) (ii)	開始(7.5%O ₂). 6'37''. (i) (i) (-)	(不明) (i)(e) (-)

註 (d) : dyspnea の訴え

異的な変化を示さない。症例 1 は負荷開始 3 分 50 秒で呼吸困難を訴えたが、そのときの筋電図は胸鎖乳突筋の吸息性放電及び呼息性放電を示している。

前斜角筋も大体胸鎖乳突筋と同じような態度を示しているが、6 例中 3 例に活動が認められる。

肋間筋については、何ら特異的な変化は認められない。この場合コントロールとしてとった筋内埋入電極による安静時の肋間筋活動は、4 例中 1 例にしか現われていない。

図(6), (7), (8), (9), (10)は筋内埋入電極でみた症例 6 の筋電図である。

b) 動脈血ガス組成および pH の変動は、図

表(1), (2), (3)に示す通りで、PaO₂ は負荷前の平均 83.1mmHg から負荷により 43.5 mmHg~26mmHg (平均 34.9 mmHg) にまで著明に下降している。

PaCO₂ の変化は 6 例すべてに低下をみる。即ち、負荷前の平均 42.4 mmHg から負荷により 35.6mmHg~24.5mmHg (平均 29.9mmHg) にまで低下している。

pH の変化は分時換気量の低下した 1 例では、7.453から7.425へと若干の低下の傾向を示しているのに対し、分時換気量の増加した 5 例では7.455~7.580で、すべてアルカローシスに傾いている。全例の負荷時の平均は 7.495である。

表 3 高炭酸ガス負荷時の呼吸筋筋電図

電 極	症 例	氏 名	被 験 筋	負 荷 前			炭 酸 ガ ス 負 荷(反復呼吸法)
				安 静 時	深 呼 吸	強制呼吸	
表 面 電 極	1	豊 ○	肋 間 筋 前斜角筋 胸鎖乳突筋 腹 壁 筋	(-)~(i) (-)~(i) (-)~(i) (-)	(ii) (ii) (ii) (-)	(ii) (ii) (ii) (i)	開始. 4 分. 6'20''(d). (i) (ii) (ii)(e) (i) (ii) (ii)(e) (i) (ii) (ii)(e) (-) (-) (-)
	2	佐 ○	肋 間 筋 前斜角筋 胸鎖乳突筋 腹 壁 筋	(-) (i) (-) (-)	(ii)(e) (ii) (ii) (ii)(e)	(i) (ii) (ii) (i)	開始. 3'52.'' 7'40.'' 9'34''(d). 9'49.'' (-) (-) (-) (-) (-) (i) (-) (i) (i) (i) (-) (-) (-) (-) (i) (-) (-) (-) (-) (-)
	3	伊 ○	肋 間 筋 前斜角筋 胸鎖乳突筋 腹 壁 筋	(-) (-) (-) (-)	(i) (ii) (i) (i)	(i) (ii) (ii) (i)	開始. 3'30.'' 4 分. 5 分. 5'50''(d). (-) (-) (i) (i) (i) (-) (i) (i) (i) (i) (-) (-) (-) (i) (i) (-) (-) (-) (i) (i)
	4	太 ○	肋 間 筋 前斜角筋 胸鎖乳突筋 腹 壁 筋	(-) (-) (-) (-)	(i) (i) (-) (-)	(i) (i) (i) (i)	開始. 5'30.'' 7'50''(d). 8'12''. (-) (-) (i) (i) (-) (-) (-) (i) (-) (-) (-) (-) (-) (i) (i) (i)
	5	伴 ○	肋 間 筋 前斜角筋 胸鎖乳突筋 腹 壁 筋	(-) (-) (-) (-)	(i)(e) (ii) (ii) (e)	(e) (i) (i) (e)	開始. 5'55.''6'55.''7'45.''7'52''(d). 9'02.'' (-) (-) (-) (i) (i) (i)(e) (-) (-) (ii) (ii) (ii) (ii)(e) (-) (i) (ii) (ii) (ii)(e)(ii)(e) (-) (-) (-) (-) (-) (e)
筋 内 埋 入 電 極	6	岡 ○	肋 間 筋 前斜角筋 胸鎖乳突筋 腹 壁 筋	(i) (i) (i) (i)	(ii) (ii) (ii) (ii)	(ii) (ii) (ii) (ii)	開始. 1 分. 7 分(d). (ii) (ii) (i) (ii) (i) (ii) (i) (ii)
	7	中 ○	肋 間 筋 前斜角筋 胸鎖乳突筋 腹 壁 筋	(i) (-) (-) (-)	(ii) (i) (i) (i)	(ii) (i) (i) (ii)	開始. 5 分. 5'30.'' 7 分. 7'12''(d). (i) (i) (i) (i) (-) (-) (i) (i) (-) (-) (-) (i) (-) (i) (i) (i)

c) 換気量の変化は図表(4), (5), (6)に示す通りで、低酸素負荷により呼吸数は0.92倍~1.24倍(平均1.11倍)となっている。ここで注目すべきことは、低酸素負荷が重いほど、つまり酸素濃度の低い負荷ほど、呼吸数の変化がないか、または減っていることである。例

えば、9.5% O₂ を負荷した例では、呼吸数が17から21即ち1.24倍となっているのに対し、7.5% O₂ を負荷した2例では、それぞれ呼吸数が16→16, 26→24と同じか、むしろ減少している。しかし、このうちの1例は、負荷前の PaCO₂ が低下していることから、負

荷前にすでに過換気を行っていたものと思われる。しかし、この例を除いたとしても、明らかに負荷の度合がきついほど、呼吸数の変化の程度も少ないように思われる。

平均1回換気量は0.91倍～1.2倍の範囲にあり、平均1.07倍で、有意の変化は認められない。

平均分時換気量は0.79倍～1.45倍とややばらつきが大きい、平均1.11倍となっている。この場合も、負荷の度合がきついほど換気量は極く僅かの増加または減少を示している。

C) C群について：

a) 筋電図上の変化は表(3)に示す通りで、反復呼吸による高炭酸ガス負荷で、7例すべてに自覚的な呼吸困難が招来すると相前後して、1例を除いた6例すべてに胸鎖乳突筋の活動の出現をみる。このうち代表的なもの1例について、表面電極による筋電図の変化を図(11), (12), (13), (14), (15), (16), (17)で示した。図(11), (12), (13)はそれぞれ安静時、深呼吸時、強制呼吸時の筋電図上の変化である。図(14)は反復呼吸開始時のものであるが、前斜角筋の活動しかみられない。図(15)は負荷開始後9分34秒で呼吸困難を訴え、これより15秒後に胸鎖乳突筋の相対的な活動放電が現われていることを示している。この例では図(16)でみるように、負荷解除後30秒では、なお、胸鎖乳突筋、前斜角筋、肋間筋の活動がみられ、45秒後には、まず胸鎖乳突筋の活動が止み、1分後には、図(17)でみるように、肋間筋の活動が止み、以後依然として前斜角筋の活動だけが認められている。

b) 動脈血ガス組成およびpHの変動は、図表(1), (2), (3)に示す通りで、 PaO_2 は純酸素を吸入させているため、その値も負荷により平均413mmHgと著明に上昇している。

Paco_2 も負荷により平均52.4 mmHgへと著明に上昇している。これは、低酸素負荷で Paco_2 が平均29.9 mmHgへと著明に低下しているのとは対称的である。

pHについては、低酸素負荷で平均7.495

とアルカローシスになっているのに対し、高炭酸ガス負荷では平均7.303と著明にアシドーシスに傾いている。

c) 換気量の変化は図表(4), (5), (6)に示す通りで、高炭酸ガス負荷によって、呼吸困難が招来したときの1分間の呼吸数は、負荷前の呼吸数の1.51倍になっている。また、1回換気量は2.63倍、分時換気量は4.29倍となっている。

Ⅲ 総括ならびに考察

動物における呼吸筋の筋電図学的研究には、従来、Gesell¹⁵⁻¹⁸⁾を初めとして、多数の研究¹⁹⁻²⁴⁾があるが、いずれも麻酔下において観察されたものである。

人における無麻酔下での呼吸筋電図の研究は、近年、Campbellらを中心として詳細な研究^{12,13,25,26,9)}が行なわれてきた。その他にも数多くの研究^{27,28,29,30)}がある。

本邦においても時実^{31,7)}、小口^{32,33)}、川俣⁶⁾、土屋³⁴⁾、卜部³⁵⁾、小谷³⁶⁾、横張³⁷⁾等多数の研究がみられるが、とくに呼吸困難のときの呼吸筋筋電図について考察したものは、あまり見当たらないようである。しかし、若干呼吸困難に近い課題として、吉村³⁸⁾は急性肺水腫発生過程における呼吸筋の筋電図学的研究を、麻酔犬について行っており、さらにHypoxia負荷と、Hypercapnia負荷とを行なって、呼吸筋の放電活動を観察している。また、中村³⁹⁾は呼吸困難を努力呼吸と解し、このときの喉頭筋、横隔膜、軟口蓋筋電図を観察している。たま、Maekawa等⁴⁰⁾はNeurocirculatory Asthenia(N.C.A.)の呼吸困難の病態生理について、筋電図による詳細な観察を行ない、N.C.A.の呼吸困難には呼吸筋のdysrhythmicな放電がみられること、これは一種のthorax starreの状態にあり、この状態はMephenesinの静注で改善され、それとともに呼吸困難も緩解することを示している。

われわれは、安静時に呼吸困難のある肺疾患々者の呼吸筋として、外肋間筋、前斜角筋、胸鎖乳突筋、腹壁筋(外腹斜筋または腹横筋)の四

つの筋を選び、筋電図的に検討した。

ついで、負荷により Hypoxemia, Hypercapnia 等を招来せしめた場合について検討した。

しかし、こうした呼吸困難または負荷の場合の呼吸筋筋電図を検討するには、これらの呼吸筋についての現在までの諸家の見解を知っておく必要がある。

肋間筋の働きについては、従来から諸家の見解はまちまちである。肋間筋が正常安静呼吸運動に参与する様相については、成書^{41,42)}によれば、外肋間筋および内肋間筋はともに吸息性であるとする人々 (Borelli, Senac, Boerhaave, Winslow, Haller, Cuvier, Duchenne), 外肋間筋および内肋間筋はともに呼息性であるとする人々 (Vesalius, Diemer-Bröck, Sabatier, Beau & Maissiat, Longet), 外肋間筋は吸息性であり、内肋間筋は軟骨部を除いて呼息性であるとする人々 (Spigel, Vesling, Bayle, Hamberger, Hutchinson, A. Fick, Martin & Hartwell, Du Bois-Reymond), あるいはまた、肋間筋は肋骨の運動に関して殆んど重要性はなく、むしろ肋間の緊張を調整し、吸息期間中に胸腔内陰圧の増大によって肋間が陥凹することを防いでいるとする人々 (Henle, Meissner, Brücke, von Ebner, Landois) 等があるが、一般的には、外肋間筋は吸息性、内肋間筋は軟骨部では吸息性、骨部では呼息性と考えられている。

しかしながら、筋電図学的方法を応用し、麻酔犬を用いた Gesell¹⁶⁾ の実験結果によると、外肋間筋における吸息性活動電位は、主として胸廓の頭側半分および大前鋸筋の肋骨附着部より背方の部位において認められ、第6肋間以下の部位では、ときに呼息性活動電位が認められている。また内肋間筋においては、軟骨部が頭側では吸息性であり、第6肋間以下では大部分の例において呼息性となり、骨部では殆んど活動電位を認めないのが普通であるが、ときに胸廓の尾側半部において呼息性活動電位が認められている。このように肋間筋の働きは非常に複雑であって、吸息筋であるか呼息筋であるかは、筋の種類によって簡単には分類することができず、筋の胸廓における位置を考えねばなら

ぬようである。

これに対し、小谷³⁶⁾は除脳犬を用い、内外肋間筋の働きの様相を筋電図学的に検索した。その結果、外肋間筋については、第1, 2, 3, 4肋間において殆んど常に吸息性スパイク放電が認められ、第5, 6肋間においては、背方では殆んど常に吸息性スパイク放電が認められるが、腹方では頻繁に呼息性スパイク放電が認められるようになる。第7肋間より尾側の各肋間においては、大部分の試みにおいて呼息性スパイク放電が認められ、吸息性スパイク放電は稀にしか認められない。この事実から外肋間筋は解剖学的には一様の走行を示してはいるが、機能的には吸息性線維と呼息性線維とが混在していると考えている。また内肋間筋については、軟骨部において第1肋間より第6肋間までつねに明瞭な吸息性スパイク放電が認められるが、それ以下の肋間では、ときに呼息性スパイク放電が認められる。また骨部では、第1, 2, 3, 4肋間の背方において、比較的しばしば吸息性スパイク放電が認められるが、第5肋間以下では稀にしか認められなくなり、殆んど大部分の試みにおいて、呼息性放電が認められた。この事実から彼は、内肋間筋にも機能的には、吸息性線維とが混在していると考えている。Gesellの実験結果との相異に対しては、Gesellがモルフィンおよびウレタンで麻酔したのに対し、彼は無麻酔除脳犬を使用したことをあげている。麻酔は呼吸中枢に何らかの悪影響を及ぼし、一般に呼吸性インパルスの減少をきたすのみならず、とくに呼息性インパルスの減少を惹き起すのではなかろうかとしている。

Bronk & Ferguson¹⁹⁾ もまた、ある例において、内肋間筋骨部を支配する神経および外肋間筋を支配する神経に、吸息相において同時的インパルスの現われることを認めている。これに対して、小谷は、これは、内肋間筋骨部に吸息性線維が混在しているので吸息性インパルスが検出されたものだとして説明している。

しかし、時実⁷⁾は、人における呼吸運動の実験の1例において、第6肋間で吸息相ならびに呼息相に一致する2種類のスパイク放電を認め

たことに対し、これは電極が内肋間筋と外肋間筋との境界面にあたったためであると解釈している。

われわれの実験では、表(2), (3)に示す通り、安静時に呼吸困難のないグループ(B, C群)での検索で、肋間筋は、表面電極では殆んど活動を示さないが、深呼吸または強制呼吸で殆んど全例に放電をとらえることができ、筋内埋入電極では、安静時に吸息性インパルスを認めたものの3例、認めなかったものの3例であった。また、安静時に呼吸困難のある患者(A群)では、表(1)に示す通り、筋内埋入電極で全例に吸息性インパルスを認めた。

以上のことから、表面電極では、安静時に肋間筋の活動をとらえることは甚だ困難であり、筋内埋入電極では、この活動のある程度とらえるということを示している。なお、筋内埋入電極で、深呼吸または強制呼吸を行わせると、放電の増加を示すか、今まで放電のなかったものも放電を示すようになる。

このことはやはり、目的被験筋から電極がずれていたか、または、卜部・川俣³⁵⁾、川俣⁸⁾、下地・武下⁴³⁾らの云うように、外肋間筋の活動が不安定であることを推定させる。

亀井・川村⁴⁴⁾は、健康人および珪肺患者の安静時と、反復呼吸による高炭酸ガス負荷時の呼吸筋電図を、内肋間筋について観察した。彼らによると、健康者では、努力性呼吸、または呼吸困難の場合等を除いて殆んど発現しないといわれている呼息時のスパイク放電は、珪肺患者では安静時に約1/4に出現した。また、安静時にスパイク放電の発現をみなかったもののうちでも、負荷時には著明に発現したものが多く、安静時にすでにスパイク放電のあったものは、大部分その増強を示したといっている。このことから珪肺患者においては、安静時にすでに努力性呼吸を行っており、負荷即ち労作によって益々その度を強めている証拠を与えるものと推察している。

土屋³⁴⁾も全身麻酔下で、麻酔が浅いときにはAsphyxiaによって、肋間筋に吸息性あるいは呼息性放電の活動増強を認めている。

Bronk & Ferguson¹⁹⁾は内肋間筋軟骨間部の吸息性放電を観察して、インパルスの頻度がAsphyxiaの進行とともに増加したと述べている。

また、Brown等²¹⁾は犬に4%酸素、10%炭酸ガスを吸入させ、anoxemic hyperpneaでは、吸息性収縮が強くなるが、呼息性収縮は短時間であり、hypercapnic hyperpneaでは、吸息とともに呼息時 potential も持続的变化を示すと述べている。

池尻⁴⁵⁾は麻酔犬におけるAnoxia, Hypercapniaの内肋間筋の態度を観察し、概ね酸素濃度が10~15%程度以下になって初めて、放電増強がみられたとし、炭酸ガス負荷の場合は、5%では明らかな変化が認められないが、10, 20%では、著明な放電増強が認められたとしている。

われわれの実験では、外肋間筋の活動放電はA群のすべてに認められたのに対し、B群では低酸素負荷によっても、肋間筋の活動は1例にも認められなかった。C群では高炭酸ガス負荷により、7例中6例に肋間筋の吸息性放電が認められ、そのうちのあるものには、呼吸困難が招来すると、吸息性放電の増強または呼息性放電の発現をみるに至っている。しかし、呼吸困難のあるときと、ないときとで、内外肋間筋の態度を種々論議することは、この筋が上記のように、論争の多い、問題のある筋であることから、必ずしも適切であるとは云い難い。

腹壁筋については、Tokizane等⁷⁾、川俣⁸⁾は、健常者の立位または坐位における針電極での検索で、腹横筋、内外腹斜筋ともに平静呼吸で呼息性放電を発するのをみている。即ち、安静呼吸においても腹直筋以外の腹壁筋は、主呼息筋として能動的に呼吸運動に参加しているという。

これに対し、Campbell^{12,13,25)}は仰臥位における表面電極での観察で、外腹斜筋は安静時には活動しておらず、意識的な最大呼息とか、Asphyxiaで呼吸量がかなり増したさいの呼息に働くといっている。

しかし、われわれの成績では、表(3)でみる

ように、意識的な深呼吸または強制呼吸で呼吸性放電を示すものよりも、吸息性放電を示すものの方が多いという結果になっている。これは、Campbell¹²⁾ のいうように、この筋は呼吸の初めよりも終りに作用すること、また時実¹⁴⁾ も察しているように、呼吸筋であるはずの腹壁筋が、最大吸息の終期にかなり著しい放電を示すこと（この現象に対して、時実は、これは筋の過度の伸展によって起る反射性の所謂 Stretchreflex によるものだと思っている）等の理由で、筋電図上では吸息性インパルスに入れられたものと思われる。表(1)にみるように、A群では、安静時にこの筋の活動放電をみるものとみないものとがあり、一様ではない。また、表(3)でみるように、高炭酸ガス負荷の進行とともに、一部のものには、漸次この筋の活動放電が現われてはいるが、呼吸困難とは直接結びつけにくいように思われる。

前斜角筋は解剖学的に頸椎と第I肋骨との間に走り、胸廓の挙上に大きな意味があることは、すでによく知られている。そして、従来から斜角筋群は補助呼吸筋とされ、深呼吸や強制呼吸のさいにその活動を現わしてくるものと云われてきたが、必ずしもそうではないとする見解がある。

Campbell⁹⁾ は仰臥位における表面電極での検索で、安静時に健康人5人中1人に吸息性放電を、他の1人に呼吸性リズムのない連続性放電を認めている。

Tokizane 等⁷⁾、川俣⁸⁾の詳細な呼吸筋筋電図の研究でも、立位または坐位ではあるが、平静呼吸で斜角筋群が吸息性インパルスを出すのをみている。

同じく Jones 等²⁷⁾ も安静吸息で、僅かに斜角筋のリズミックな収縮のあることを報告している。

また、斜角筋群の活動の初まりと換気量との関係については、Campbell⁹⁾ は3人の健康被験者に6lのスパイロメーター中の呼気ガスを反復呼吸せしめたとき、斜角筋の活動の開始をみるのは、個人差はあるが、少いので肺活量の30%、吸気容量の40~45%のときであり、多い

もので肺活量の55~60%、吸気容量の65%のときであるといっている。

また、Raper 等⁴⁶⁾も7名における検索で、肺活量の22.4~53.2%のときに斜角筋の活動開始をみている。

われわれの実験では、A群においては、表面電極、筋内埋入電極のいずれにおいても、安静時に吸息性インパルスがみられ、さらに一部のものでは、深呼吸または強制呼吸で放電数の増加がみられている。

B群とC群とでは、安静時に前斜角筋の活動がみられるのは、表面電極で1例のみであり、筋内埋入電力では2例であった。これが、深呼吸または強制呼吸になると、安静時の放電の有無に関係なく放電数の著明な増加が認められるようになる。

B群における低酸素負荷では、負荷開始時すでに前斜角筋の吸息性活動は6例中2例においてみられ、Hypoxemiaに至れば、負荷開始時に放電のあったものは放電の増加の傾向をみるとともに呼吸性放電をも示すに至る。また、放電のなかったものも、負荷によって4例中1例に吸息性放電の発生を示している。

つぎに、C群における高炭酸ガス負荷の場合には、負荷開始時すでに前斜角筋の活動をみるものは7例中2例であるが、Hypercapniaの度が強くなるにつれて吸息性放電の増加をみるようになる。負荷開始時放電のなかったものも、負荷が進むと漸次活潑な放電を示すに至る。呼吸困難の度が強くなれば、一部には呼吸性放電をも認めるようになる。また、7例中6例は、呼吸困難を訴える以前に前斜角筋の活動を現わしており、1例は呼吸困難を訴えた後にその活動を現わしている。

以上のことから、前斜角筋は、若干の肺機能障害があれば、容易に安静時にも活動をきたし、若干の換気量の増加をみるような場合にも活動を現わすものと思われ、また、呼吸困難の度が強くなれば、活潑な吸息性活動を示し、一部には呼吸性放電も加わるようになるものと考えられる。

胸鎖乳突筋が、健常者において安静時の呼吸

運動に関与していないことは Tokizane 等⁷⁾, 川俣⁸⁾, Campbell,⁹⁾ Raper 等⁴⁶⁾らの一致した見解である。

即ち, Tokizane および川俣は立位または坐位においてであるが, 強制呼吸で吸息性活動を認めている。

Campbell は5人の健康被験者に反復呼吸による炭酸ガス負荷を行なったさい, 胸鎖乳突筋の活動がみられるようになるのは, 少ないもので肺活量の55%, 吸気容量の70~75%, 多いもので肺活量の65~70%, 吸気容量の80~85%のときであるといっている。このことから, 健常者の場合, 吸気容量の少なくとも70%までの1回換気量では, 胸鎖乳突筋は関与しないと結論している。同様の見解で, Raper 等は肺活量の65%という数値をあげている。このことは, 吸気容量の70%以上を使うような呼吸になれば, 胸鎖乳突筋も関与し始めることもあるということであり, もし, これが肺機能障害のあるものにも適用できるのであれば, 胸鎖乳突筋の活動を認めた場合, 極めて予備能力の少ない呼吸をしていることが察知されることになる。

しかし, これが肺疾患々者に適用されないことは表(4)をみれば明らかである。即ち, この症例は安静時に胸鎖乳突筋の著明な活動を示す患者であるが, 1回換気量は630ccで, 肺活量は1600ccである。

従って, $630/1600 \times 100 \div 39.3\%$ となり, 1回換気量は肺活量の約40%に相当し, 上記の適用とはならないことがわかる。この患者の疾患は肺気腫合併気管支喘息であることから, 胸鎖乳突筋の活動の発現には, 上記のような呼吸量の増加という問題以外に, 呼吸抵抗の増加という問題についても考慮せねばならないことが想像される。このことは呼吸困難を換気仕事量の増加なる面から考察しようとする考え方が妥当なことを意味する。

つぎに, 動脈血ガス組成およびpHについては, 従来から Hypoxemia, Hypercapnia, acidosis の三者が呼吸困難における重要な化学的因子とされている。

ところで, われわれの成績では, 図表(1), (2),

表 4 安静時呼吸困難のある患者の肺機能

1回換気量	630cc
肺活量	1600cc
%肺活量	48%
分時換気量	6940cc
分時最大換気量	17.0ℓ/min
分時最大換気率	23%
1秒量	500cc
1秒率	29%

(3)に示すように, A群は若干の Hypoxemia と Hypercapnia とがあって軽度の Asphyxia といわれる状態であるが, B群における Hypoxemia の状態では, 自覚的な呼吸困難は6例中1例にしか認められず, また, 他覚的な胸鎖乳突筋の活動も6例中2例にしかみられていない。これに対し, C群における Hypercapnia では, 自覚的な呼吸困難は7例すべてに認められ, 他覚的な胸鎖乳突筋の活動も7例中6例にみられている。このことから, Hypoxemia よりも Hypercapnia の方が呼吸困難により大きな役割をもっているものと考えられる。

つぎに, 換気量と呼吸困難については, 上記のように両者には密接な関係がある。即ち, 換気量の増大をきたせば, 漸次補助呼吸筋が種々の程度で, 呼吸運動に関与し始める。そして遂に, 胸鎖乳突筋が呼吸に関与するようになれば, 自覚的な呼吸困難がそれと相前後して招来する。このことは表(3)にみるように, 高炭酸ガス負荷の場合に著明である。即ち, C群においては, 図表(4), (5), (6)で示すように, 著明な換気量の増加が, 自, 他覚的な呼吸困難とよく一致しているといえる。

結 語

1. 安静時に呼吸困難のある肺疾患々者6例について呼吸筋の筋電図をとり, 補助呼吸筋の一つである胸鎖乳突筋が全例ともに呼吸運動に関与していることを知った。このことは, 胸鎖乳突筋の呼吸運動への関与を呼吸困難の客観的な指標としても差支えないことを示すものである。

これらの患者では、動脈血の P_{O_2} の低下や P_{CO_2} の上昇がみられたが、pH については有意の傾向は認められなかった。

2. 安静時に呼吸困難のない肺疾患々者 6 名に低酸素負荷を行なって Hypoxemia に至らしめ、呼吸困難が招来されるか否かをみた。換気量からは若干の増加をみたのみであり、筋電図上でも胸鎖乳突筋の活動は 6 例中 2 例にしか認められなかった。

また、高度の Hypoxemia になっても、自覚的な呼吸困難は 1 例にしか招来されなかった。

3. 安静時に呼吸困難のない肺疾患々者 7 名に反復呼吸による高炭酸ガス負荷を行なって Hypercapnia に至らしめ、呼吸困難が招来されるか否かをみた。この場合には、著明な換気量の増加をみるとともに、筋電図上でも胸鎖乳突筋の活動が 7 例中 6 例に認められ、またこれと相前後して自覚的な呼吸困難も招来されることがわかった。
4. 呼吸困難には Hypercapnia の方が Hypoxemia よりも、より大きな役割をもっているものと思われる。
5. 呼吸困難の指標には、肋間筋、前斜角筋、腹壁筋等是不適當であると思われる。

(稿を終るに臨み、御校閲を賜った恩師長石忠三教授に深謝の意を表します。)

文 献

- 1) Meakins, J.C.: J.A.M.A., 103:1442, 1934
- 2) Christie, R.V.: Quart. J. Med., 31:421, 1938
- 3) Altschule, M.D.: Physiology in Diseases of the Heart and Lungs (本間訳), 医歯薬出版, 東京, 1955
- 4) Otis, A.B.: Physiol. Rev., 34:449, 1954
- 5) Mead, J., and Wittenberger, J.L.: J. Appl. Physiol., 5:779, 1953
- 6) Homma, H.: Wien. Med. Wschr., 116-9:184, 1966
- 7) Tokizane, T., Kawamata, K., and Tokizane, H.: Jap. J. Physiol., 2:232, 1951
- 8) 川俣健二: 日本胸部外科学会誌, 3:737, 昭30
- 9) Campbell, E.J.M.: J. Anat., 89:378, 1955
- 10) 織畑秀夫: 呼吸器診療, 13:33, 1958
- 11) 三木威勇治, 時実利彦編: 筋電図入門, 南山堂, 東京, 昭39
- 12) Campbell, E.J.M.: J. Physiol., 117:222, 1952
- 13) Campbell, E.J.M., & Green, J.H.: J. Physiol., 120:409, 1953
- 14) 時実利彦: 麻酔, 3:148, 昭29
- 15) Gesell, R.: Am. J. Physiol., 105:37, 1933
- 16) Gesell, R.: Am. J. Physiol., 115:168, 1936
- 17) Gesell, R.: Am. J. Physiol., 116:228, 1936
- 18) Gesell, R.: Act. Ergeb. d. Physiol., 43:477, 1940
- 19) Bronk, D.W., & Ferguson, L.K.: Am. J. Physiol., 110:700, 1935
- 20) Anderson, F.M., & Lindsley, D.B.: J. Lab. & Clin. Med., 20:623, 1935
- 21) Brown, R.C., Atkinson, A.K., & Gesell, R.: Am. J. Physiol., 126:447, 1939
- 22) Gesell, R., Magee, C.S., & Bricker, J.W.: Am. J. Physiol., 128:615, 1940
- 23) Atkinson, A.K., Brown, R.C., & Gesell, R.: Am. J. Physiol., 128:303, 1940
- 24) Pitts, R.F.: J. Neurophysiol., 5:403, 1942
- 25) Campbell, E.J.M., & Green, J.H.: J. Physiol., 127:423, 1955
- 26) Campbell, E.J.M.: J. Physiol., 129:12, 1955
- 27) Jones, D.S., Beargie, R.J., & Pauly, J.E.: Anat. Record, 117:17, 1953
- 28) Jones, D.S., & Pauly, J.E.: Anat. Record, 128:733, 1957
- 29) Green, J.H., & Howell, J.B.L.: J. Physiol., 149:471, 1959
- 30) Taylor, A.: J. Physiol., 151:390, 1960
- 31) 時実利彦: 日本臨床, 9:101, 1951
- 32) 小口周男: 日本生理誌, 16:771, 昭29
- 33) 小口周男: 日本生理誌, 17:517, 昭30
- 34) 土屋周二: 麻酔, 4:443, 昭30
- 35) 卜部美代志, 川俣健二: 呼吸と循環, 1:10, 昭28
- 36) 小谷覚: 日本生理誌, 21:146, 昭34
- 37) 横張竜一: 科学, 21:97, 昭26
- 38) 吉村文雄: 久留米医誌, 22:260, 昭34
- 39) 中村文雄: 最新の筋電図学, 吉井直二郎・堀浩編, 永井書店, 大阪, 昭31
- 40) Maekawa, M., Hayase, S., & Mashiko, N.: Jap. Circulation J., 23:19, 1957
- 41) Luciani, L.: Human Physiology, 1:411, 1911 Macmillan & Co. London.: 36) による。
- 42) Luciani, L.: Physiologie des Menschen, 1, 341, 1905, Verlag von Gustav Fischer in Jena: 36) による。
- 43) 下地恒毅・武下浩: 北野病院紀要, 8:73, 昭38
- 44) 亀井文雄, 川村清: 東北医誌, 49:485, 昭29
- 45) 池尻泰二: 医学研究, 28:797, 昭33
- 46) Raper, A.J., Thompson, W.T., Shapiro, W., & Patterson, J.L.: J. Appl. Physiol. 21:497, 1966

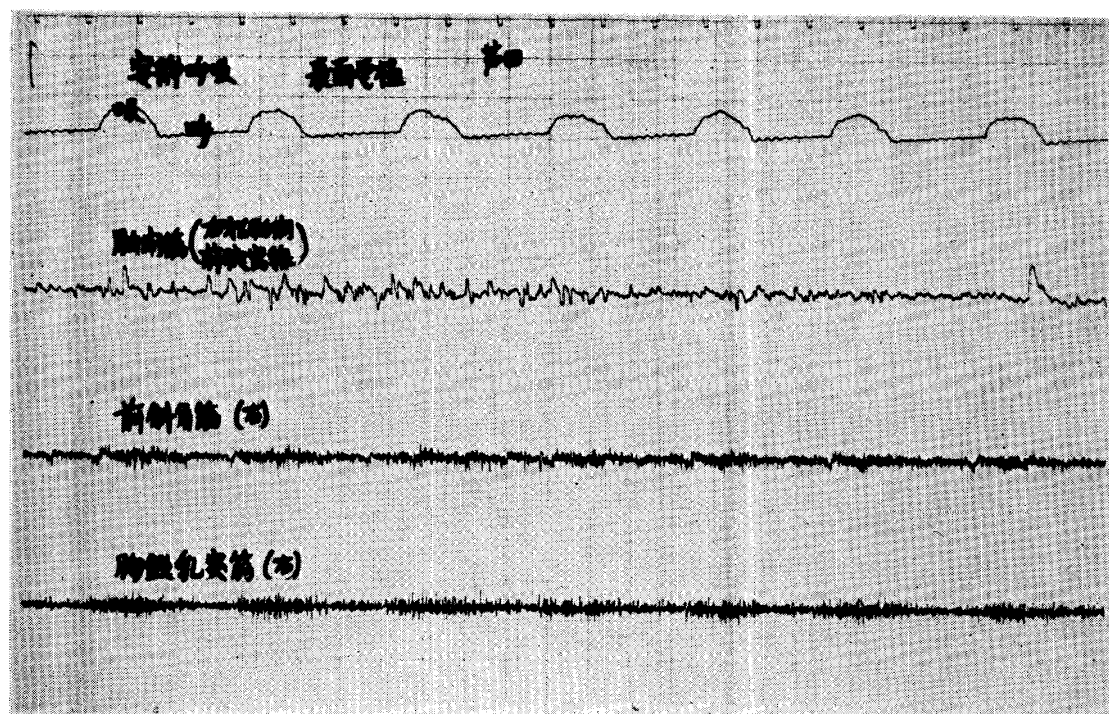


図 1 A群(症例2), 表面電極法, 安静時,
最上線: 時間(1秒間隔), 第2線: 気速曲線,
第3, 第4, 第5線: 筋電図
前斜角筋と胸鎖乳突筋に吸息性放電を認める。

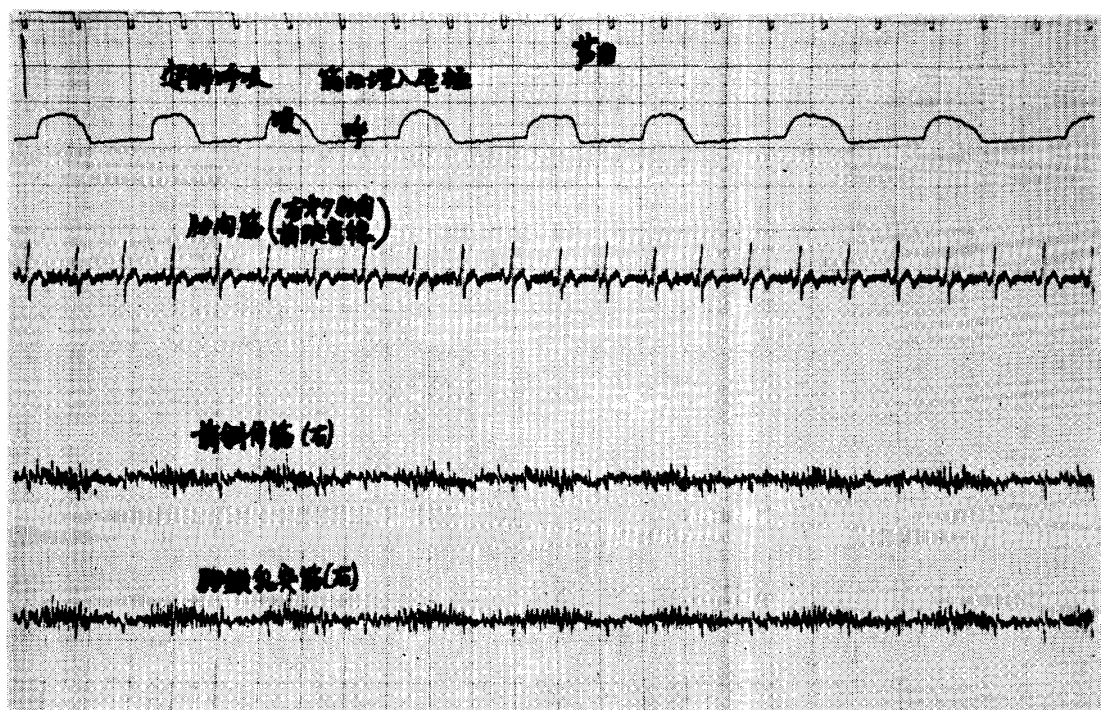


図 2 A群(症例2), 筋内埋入電極法, 安静時,
肋間筋の吸息性放電を認める。
前斜角筋, 胸鎖乳突筋は表面電極の場合と同様に吸息性放電
を認める。

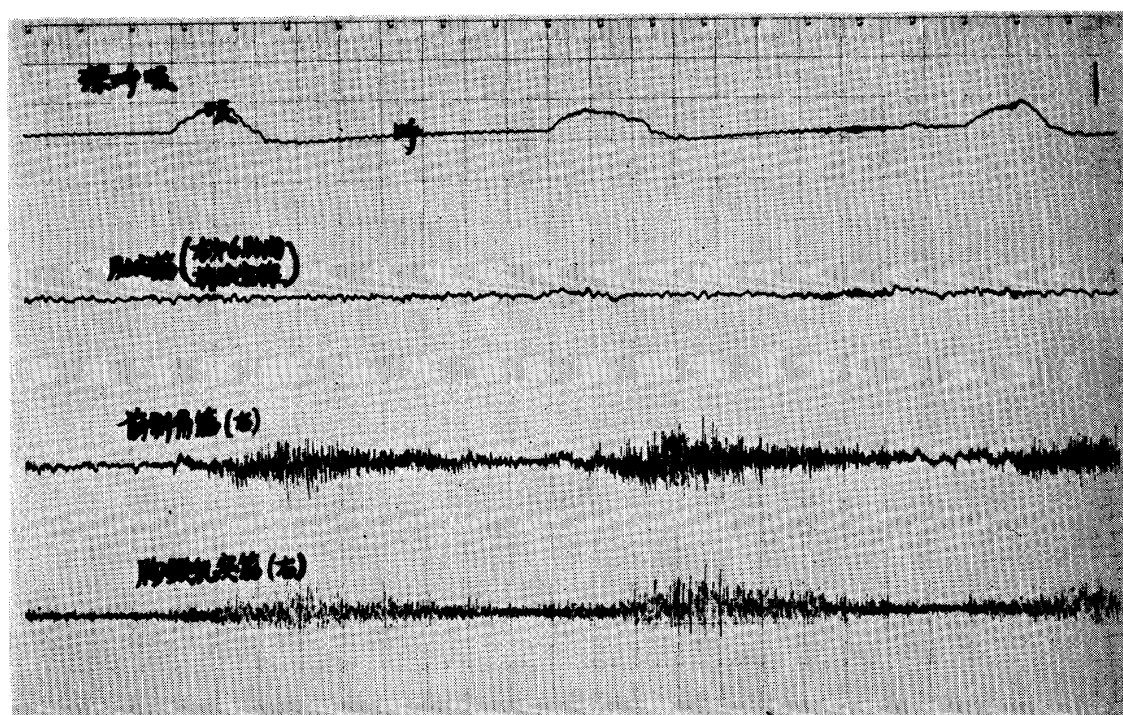


図 3 A群(症例2), 表面電極法, 深呼吸時,
前斜角筋, 胸鎖乳突筋は吸呼息にわたって著明な放電を示す。
肋間筋には放電が認められない。

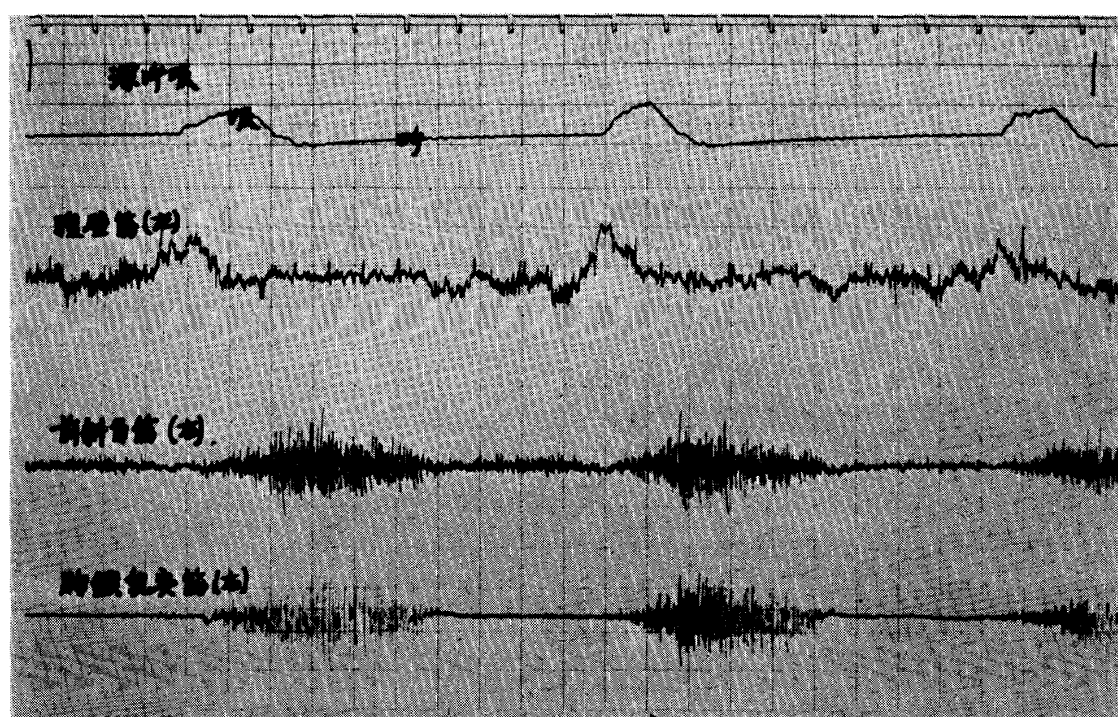


図 4 A群(症例2), 表面電極法, 深呼吸時,
腹壁筋に呼吸性放電を認める。

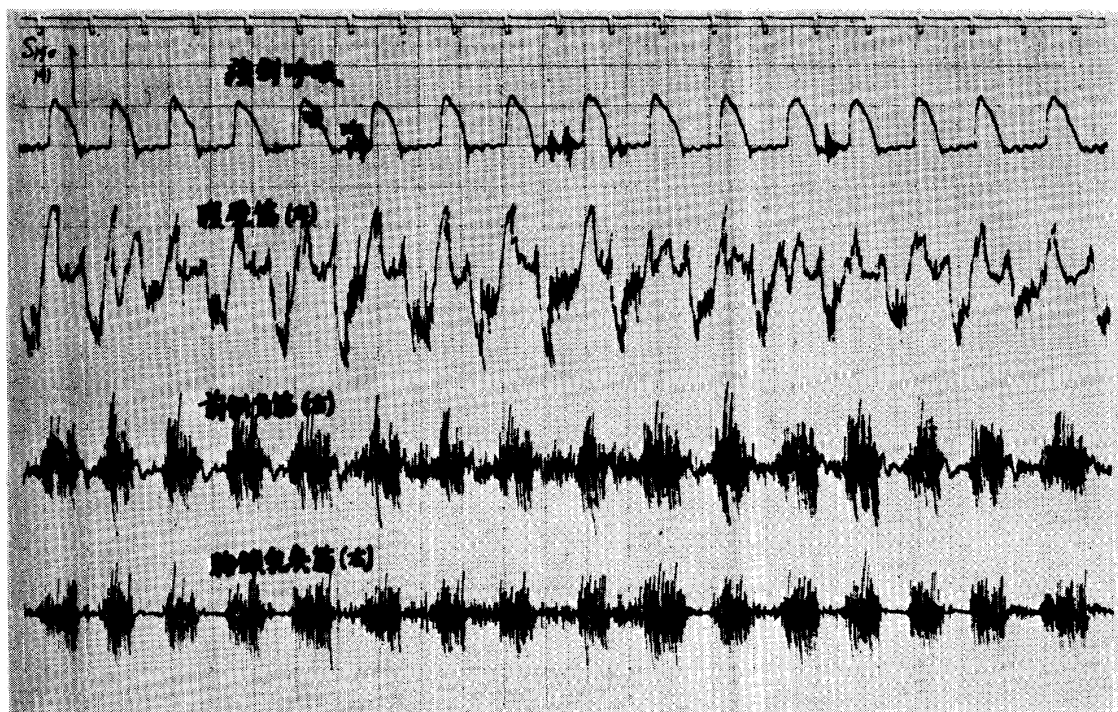


図 5 A群(症例2), 表面電極法, 強制呼吸時,
腹壁筋は活潑な呼吸性放電を示す。
前斜角筋, 胸鎖乳突筋は活潑な吸息性放電を示す。

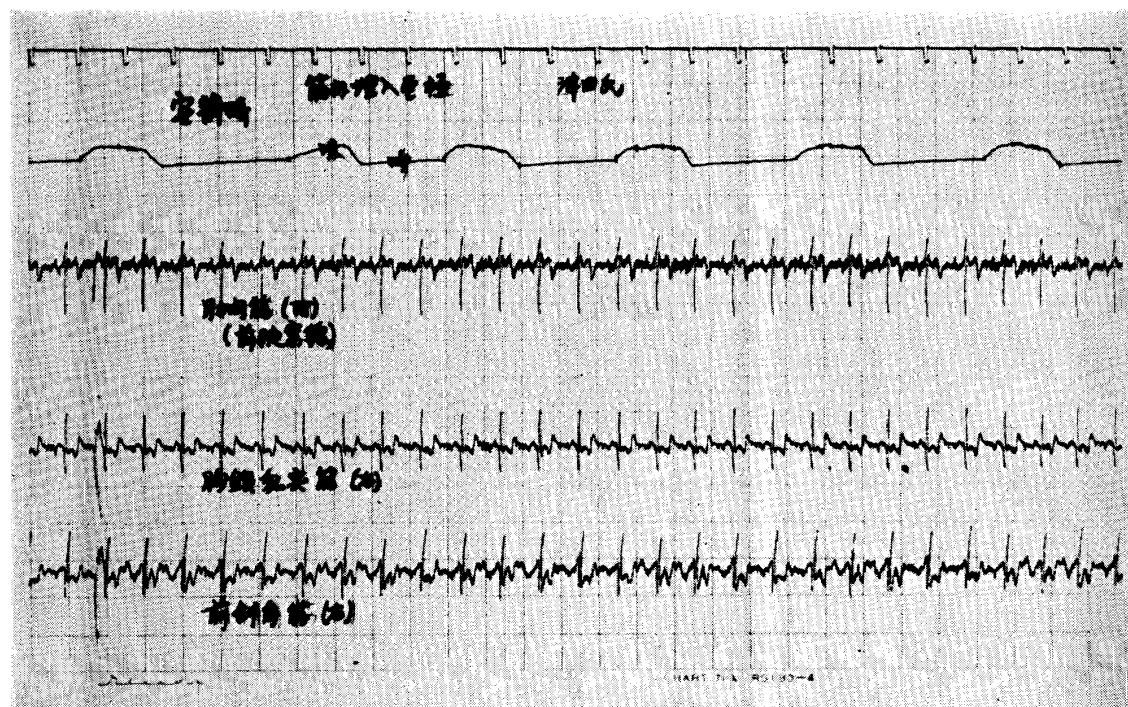


図 6 B群(症例6), 筋内埋入電極法, 安静時,
肋間筋には吸息性放電を認めるが, 胸鎖乳突筋, 前斜角筋
には放電を認めない。

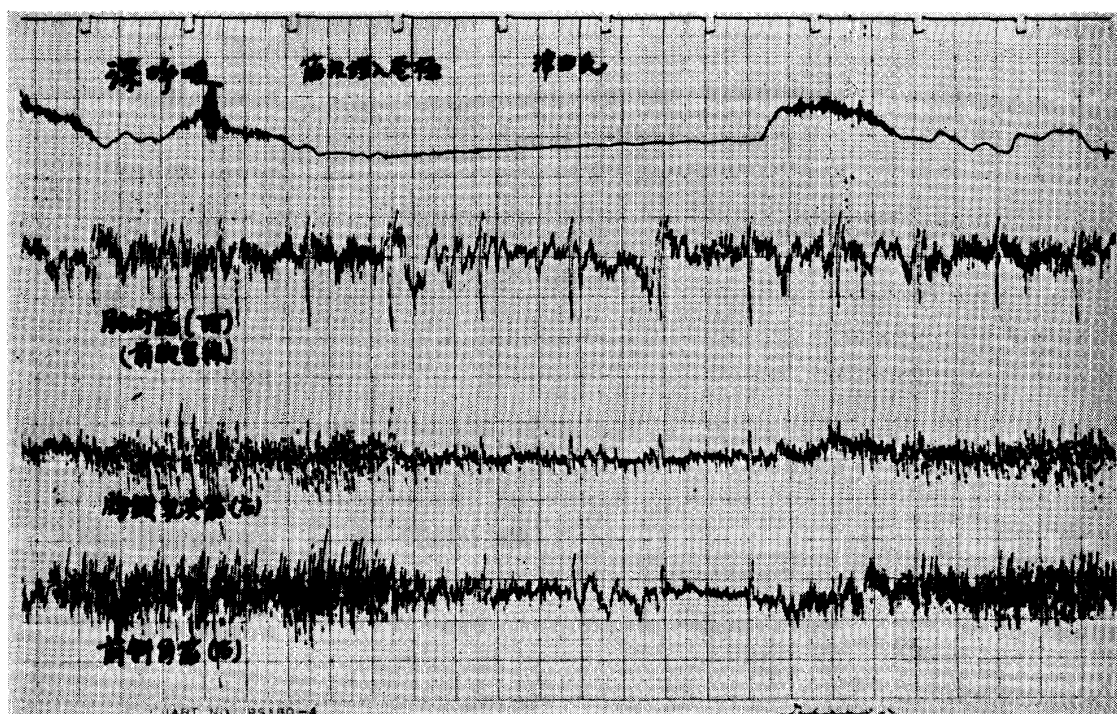


図 7 B群(症例6), 筋内埋入電極法, 深呼吸時,
肋間筋には吸息性放電が認められる。
胸鎖乳突筋, 前斜角筋にも著明な吸呼吸放電を認める。

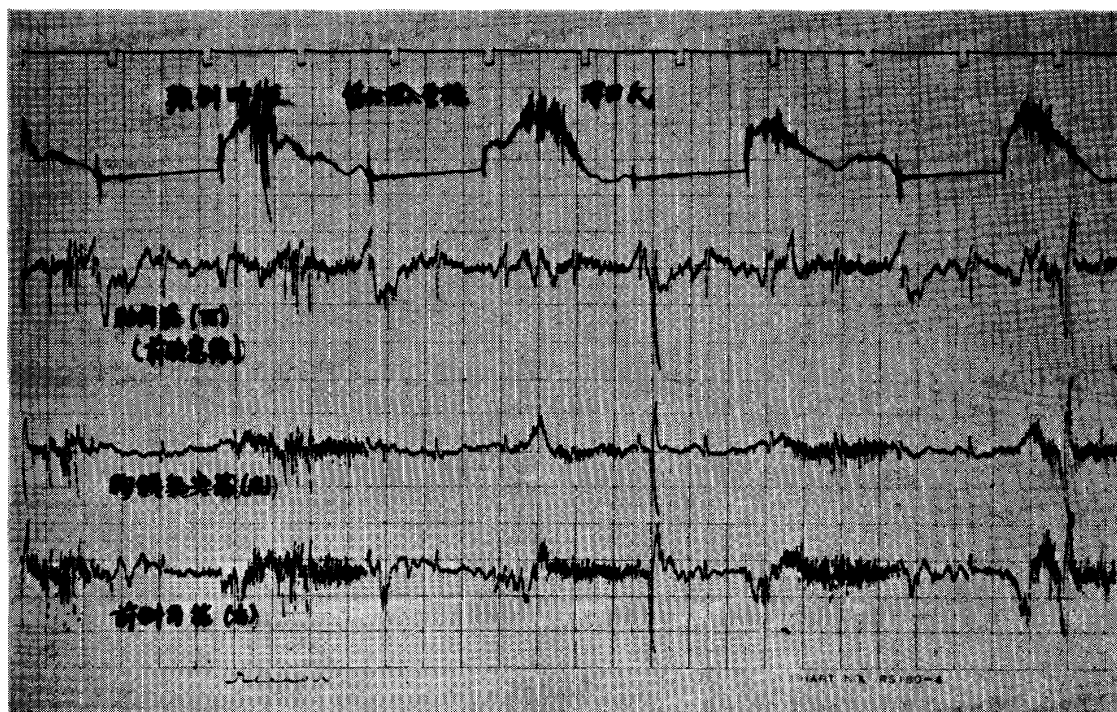


図 8 B群(症例6), 筋内埋入電極法, 強制呼吸時,
肋間筋, 胸鎖乳突筋, 前斜角筋のいずれもが吸息性放電を示す。

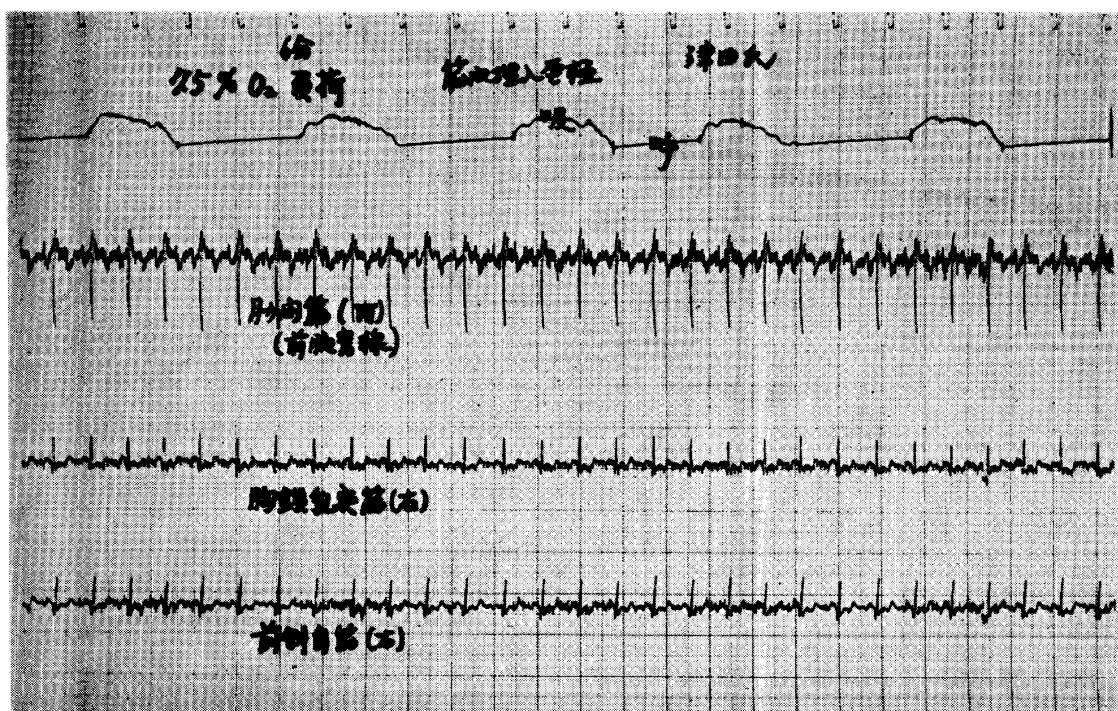


図 9 B群(症例6), 筋内埋入電極法, 低 O_2 負荷6分目,
肋間筋, 前斜角筋には吸息性放電が認められるが, 胸鎖乳突筋
には認められない。

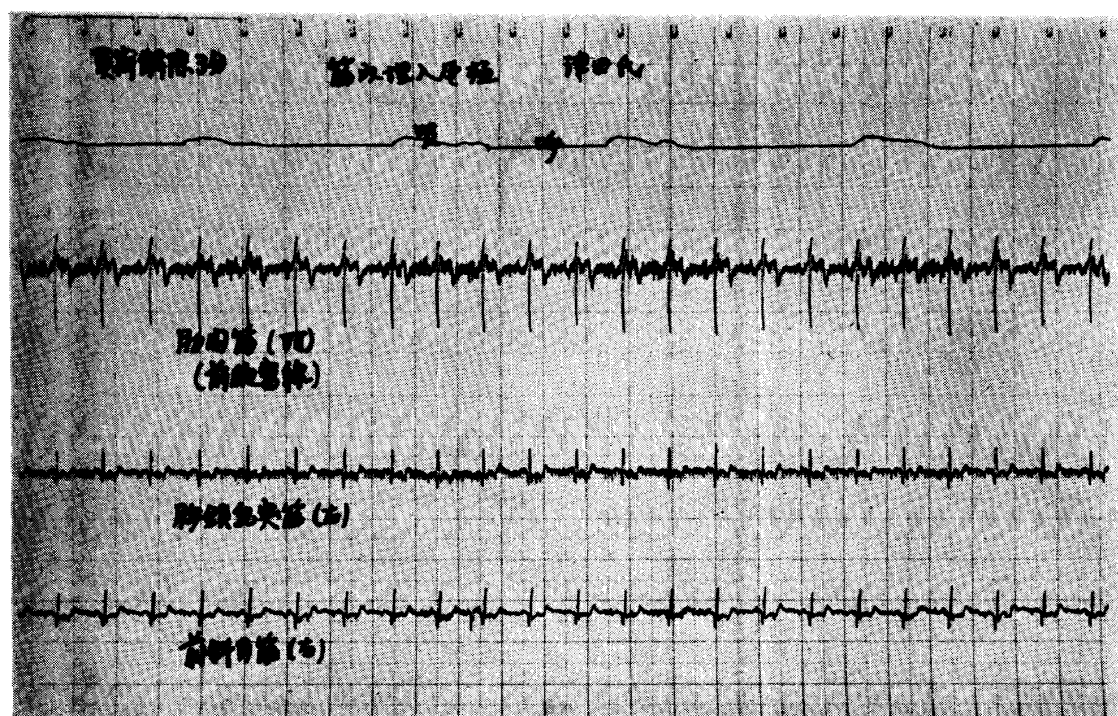


図 10 B群(症例6), 筋内埋入電極法, 低 O_2 負荷解除3分目,
肋間筋, 前斜角筋には依然として吸息性放電を認める。
胸鎖乳突筋は負荷時のときと変らない。

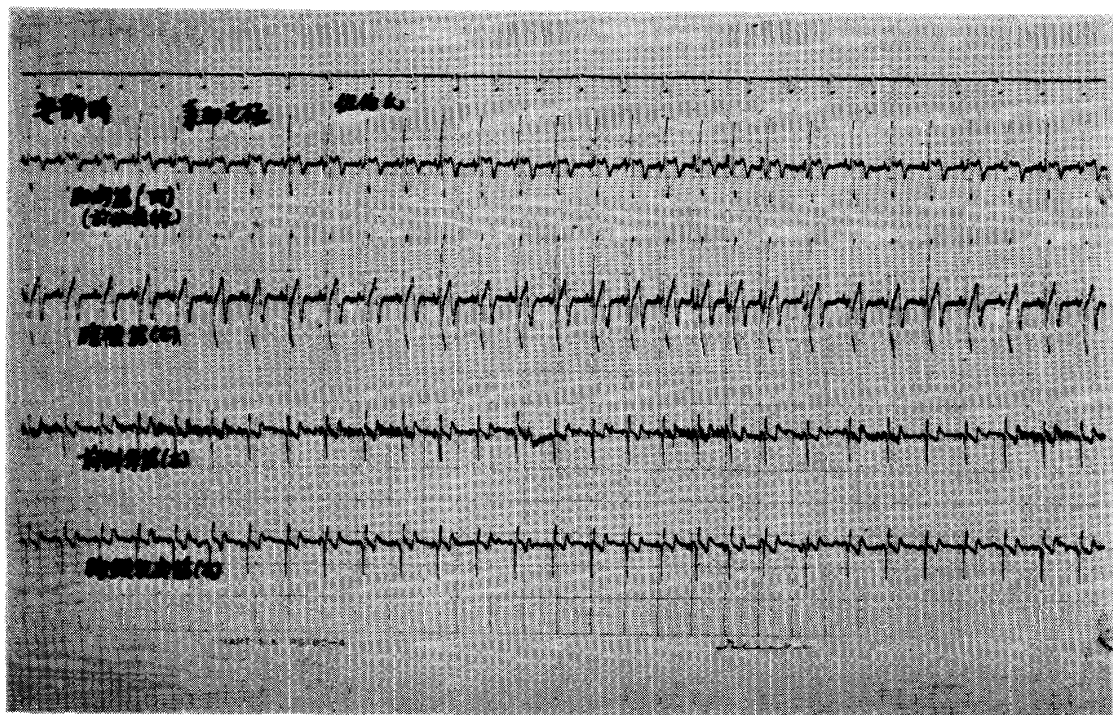


図 11 C群(症例2), 表面電極法, 安静時,
前斜角筋のみ吸息性放電を示しており, 肋間筋, 腹壁筋, 胸
鎖乳突筋には放電が認められない。

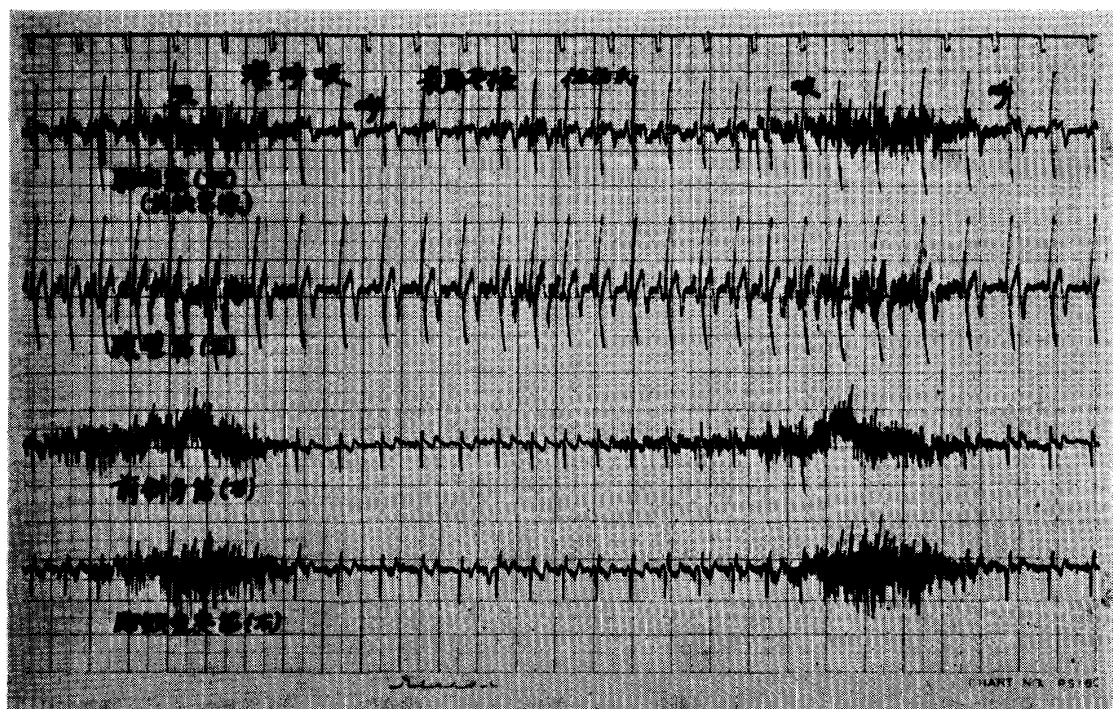


図 12 C群(症例2), 表面電極法, 深呼吸時,
肋間筋, 腹壁筋には吸息性放電と呼息性放電が認められる。
前斜角筋, 胸鎖乳突筋には吸息の終りと呼息の初めにかけて著明な
放電をみる。吸息への関与は前斜角筋の方が胸鎖乳突筋よりも早い。

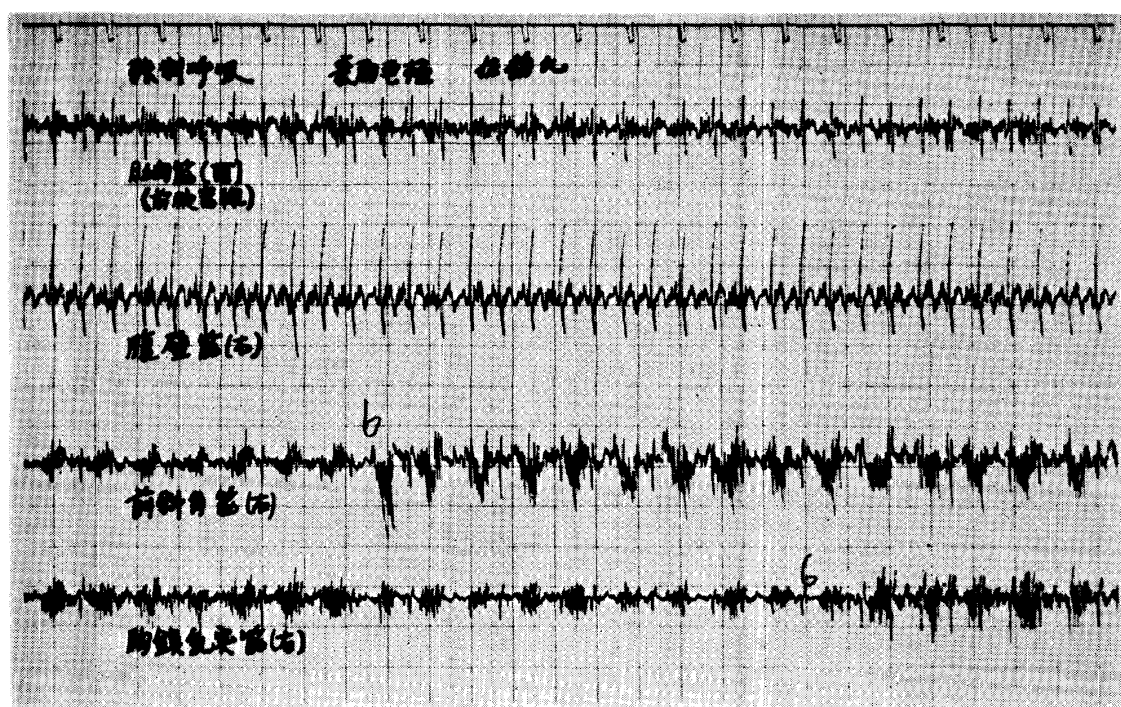


図 13 C群○症例2 表面電極法，強制呼吸時，
肋間筋，腹壁筋，前斜角筋，胸鎖乳突筋は，同時相に放電を
発している如く見える。

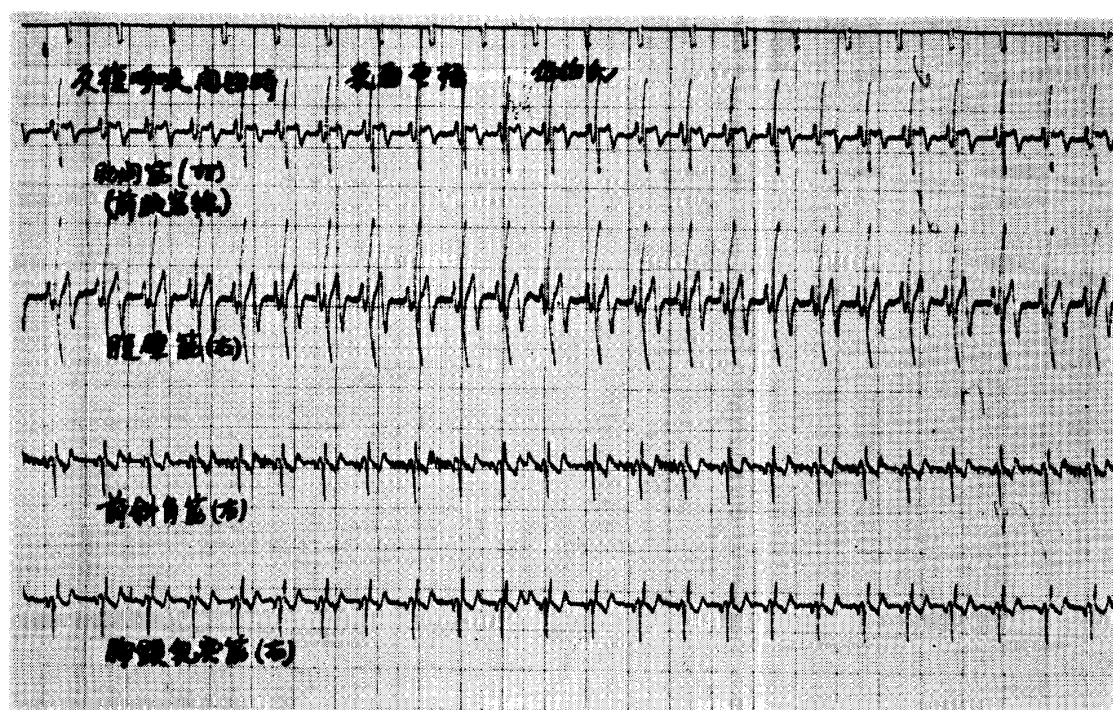


図 14 C群(症例2)，表面電極法，反復呼吸開始時，
前斜角筋のみに吸息性放電がみられ，肋間筋，腹壁筋，胸
鎖乳突筋には放電がみられない。

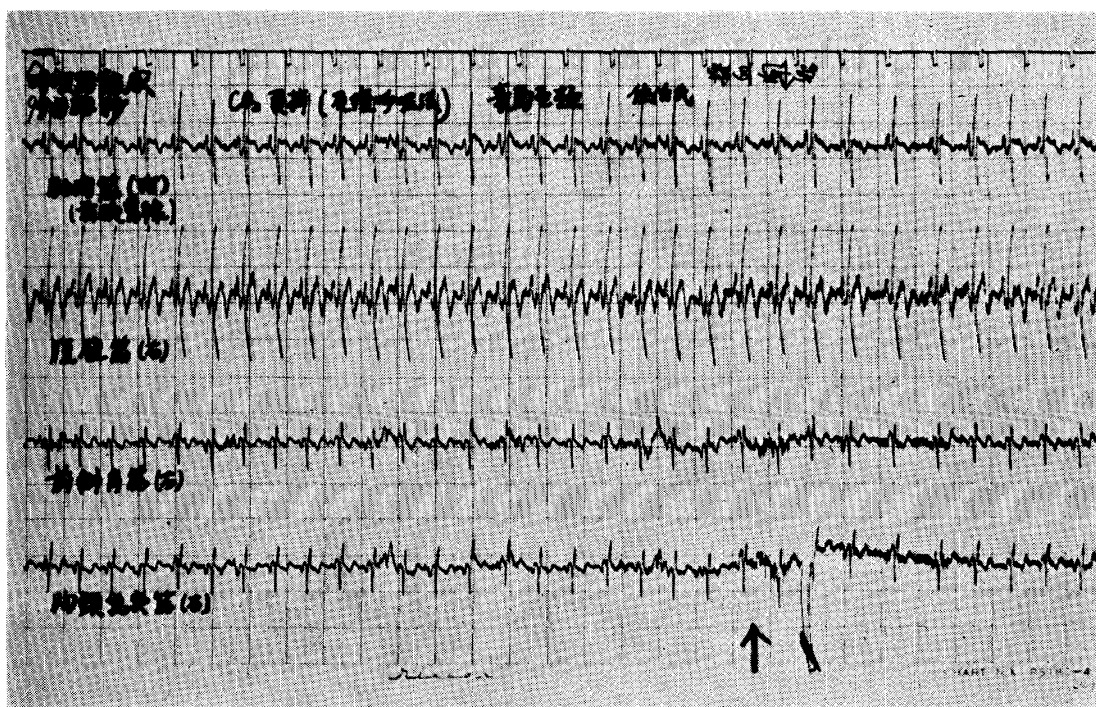


図 15 C群(症例2), 表面電極法, 呼吸困難時,
呼吸困難を訴えた15秒後に胸鎖乳突筋の吸息性放電が発生し
ている。(矢印)

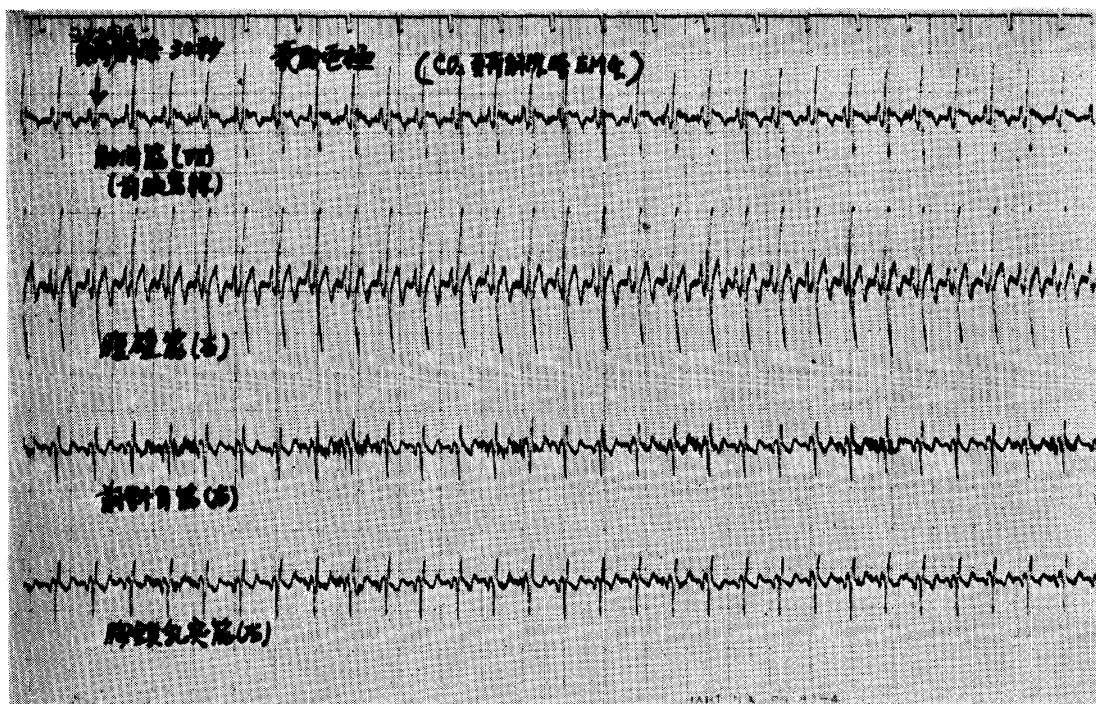


図 16 C群(症例2), 表面電極法, CO₂ 負荷解除30秒後,
肋間筋, 前斜角筋, 胸鎖乳突筋の吸息性放電がなお認められるが,
胸鎖乳突筋の放電が漸次消失していく過程を示している。
腹壁筋には放電が認められない。

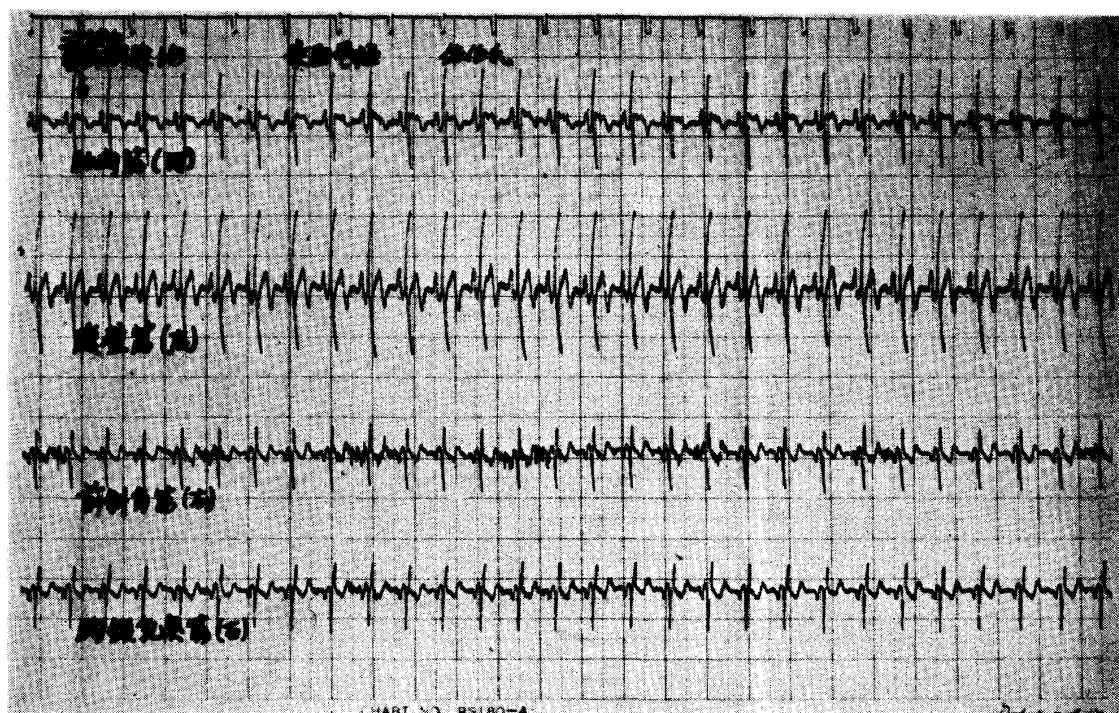


図 17 C群(症例2)，表面電極法，CO₂ 負荷解除1分目，
前斜角筋の吸息性放電が認められるのみで，肋間筋，胸鎖乳突筋
の放電は消失している。